

23-24

MÁSTER UNIVERSITARIO EN FÍSICA
AVANZADA

GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



TEORÍA DE CAMPOS

CÓDIGO 2158002-

UNED

23-24

TEORÍA DE CAMPOS
CÓDIGO 2158002-

ÍNDICE

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN
REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA
EQUIPO DOCENTE
HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE
COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE
RESULTADOS DE APRENDIZAJE
CONTENIDOS
METODOLOGÍA
SISTEMA DE EVALUACIÓN
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA
RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA
IGUALDAD DE GÉNERO

Nombre de la asignatura	TEORÍA DE CAMPOS
Código	2158002-
Curso académico	2023/2024
Título en que se imparte	MÁSTER UNIVERSITARIO EN FÍSICA AVANZADA
Tipo	CONTENIDOS
Nº ETCS	6
Horas	150.0
Periodo	SEMESTRE 1
Idiomas en que se imparte	CASTELLANO

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

El objetivo de la asignatura es dar una formación generalista en las principales características y aplicaciones actuales de la Teoría Cuántica de Campos (TCC). Los métodos de la Teoría Cuántica de Campos tienen la suficiente generalidad y flexibilidad como para ser aplicados en ámbitos muy diversos de los inicialmente previstos de la física de altas energías y las partículas fundamentales. En este sentido esta teoría ha pasado a ser un lenguaje universal, que aparece de forma natural en muchas ramas de la investigación física actual. De forma genérica, la teoría de campos es la descripción correcta cuando debe analizarse un fenómeno colectivo, que implique un gran número de grados de libertad. En la materia condensada son ejemplos tradicionales las excitaciones de un sólido a modos de cuantos, o el fenómeno de la superconductividad, cuyo lenguaje formal es el mismo que se utiliza al estudiar el mecanismo de Higgs en el modelo estándar de partículas. Otro aspecto destacado de la teoría es la técnica de integración sobre caminos de Feynman, una herramienta básica que además admite una extensión directa con la mecánica estadística, dando lugar a la teoría estadística de campos, y las teorías de campo a temperatura finita.

Históricamente la TCC ha obtenido sus resultados más espectaculares cuando la interacción bajo estudio puede considerarse pequeña representada formalmente por la pequeñez de un parámetro característico, como puede ser la constante de estructura fina en la electrodinámica cuántica. No obstante, la descripción nunca es completa ya que no puede darse a todas las escalas conjuntamente, al estar habitualmente las escalas pequeñas están desacopladas de las escalas mayores. Las teorías efectivas de campo, por su carácter marcadamente práctico, son las herramientas adecuadas que nos permiten describir y entender la existencia de esta jerarquía de escalas: al conocer cuáles son las escalas importantes, y por qué las demás aparecen desacopladas, podemos obtener soluciones aproximadas en muchos tipos de sistemas. La técnica de renormalización es la herramienta que describe, dentro de la TCC, los cambios de escala en las interacciones y permite analizar fenómenos que muestran comportamiento dependientes de las escalas de energía.

Otra técnica muy útil en TCC es la bosonización, que permite describir un sistema de fermiones interactuantes en función de campos bosónicos, que muestran una dinámica más sencilla. Finalmente otro aspecto de la TCC muy relevante actualmente es la llamada teoría conforme de campo, una teoría cuántica de campos invariante bajo transformaciones conformes, con aplicaciones muy destacadas en la mecánica estadística de las transiciones

de fase, así como en la teoría de cuerdas o la gravedad cuántica.

REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

Recomendaciones

Tener conocimientos previos de:

Teoría clásica de campos: Principio de Acción. Simetrías Lorentz y Poincaré. Simetrías y Teoremas de Noether. Leyes de conservación. Ecuación de Klein-Gordon. Ecuación de Dirac. Ecuación del campo electromagnético.

Mecánica Cuántica no relativista: Formalismo canónico. Operadores de creación y destrucción. Integración sobre caminos. Teoría de la dispersión.

Mecánica Estadística: Estadística cuántica. Fermiones y bosones en sistemas sin interacción.

EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos	ALVARO GUILLERMO PEREA COVARRUBIAS (Coordinador de asignatura)
Correo Electrónico	aperea@ccia.uned.es
Teléfono	91398-7141
Facultad	FACULTAD DE CIENCIAS
Departamento	FÍSICA MATEMÁTICA Y DE FLUIDOS

HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

Para consultas sobre esta asignatura, diríjase por correo, teléfono o e-mail de la forma que se indica a continuación.

Postales:

Dr. Álvaro Perea

UNED

Facultad de Ciencias

Departamento de Física Matemática y Fluidos

Apdo. 60141

28080 Madrid

Correo electrónico: aperea@ccia.uned.es

El horario habitual de permanencia de los Profesores de esta asignatura en la Universidad, es de 9 a 17 horas, de lunes a viernes. Se aconseja a los alumnos que realicen sus consultas durante el horario designado (los lunes de 16 a 20 horas), cuando podrán contactar fácilmente con los profesores. Si desean hacer una consulta en el despacho y no pueden en este horario, llamen por teléfono para concertar una cita en otro momento.

CURSO VIRTUAL:

A través del CURSO VIRTUAL de la asignatura se mantendrá información actualizada sobre

esta asignatura. En los Foros correspondientes se publicarán las noticias de interés y se resolverán las dudas. **Se recomienda encarecidamente** el uso de esta vía para cualquier contacto con el equipo docente.

COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

COMPETENCIAS

COMPETENCIAS BÁSICAS

CB7 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio

CB10 - Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

COMPETENCIAS GENERALES

CG1 - Comprender conceptos avanzados de Física y demostrar, en un contexto de investigación científica altamente especializada, una relación detallada y fundamentada entre los aspectos teóricos y prácticos y la metodología empleada en este campo.

CG4 - Utilizar bibliografía y fuentes de información especializada, propias del ámbito de conocimiento de la física, manejando las principales bases de datos de recursos científicos.

CG5 - Poseer la capacidad para el desarrollo de una aptitud crítica ante el aprendizaje que le lleve a plantearse nuevos problemas desde perspectivas no convencionales.

CG7 - Adquirir los conocimientos necesarios en Física Avanzada para incorporarse a un grupo de investigación o a empresas.

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

CE1 - Conocer y comprender los elementos más relevantes de la física teórica, computacional y de fluidos actual. Profundizar en la comprensión de las teorías que se encuentran en la frontera de estos temas, incluyendo su estructura matemática, su confrontación con resultados experimentales, y la descripción de los fenómenos físicos que dichas teorías explican.

CE2 - Adquirir la capacidad para abordar y resolver un problema avanzado en la física teórica, computacional o de fluidos, mediante la elección adecuada del contexto teórico, la identificación de los conceptos relevantes y el uso de las técnicas matemáticas que constituyen la mejor aproximación para así llegar a la solución.

CE5 - Analizar una situación compleja extrayendo cuales son las cantidades físicas relevantes y ser capaz de reducirla a un modelo parametrizado.

CE6 - Resolver problemas algebraicos, de resolución de ecuaciones y de optimización mediante métodos numéricos.

CE11 - Analizar problemas nuevos en sistemas poco conocidos y determinar similitudes y diferencias con modelos de referencia.

CE12 - Analizar críticamente resultados experimentales, analíticos y numéricos en el campo de la física avanzada.

CE9 - Elaborar una memoria clara y concisa de los resultados de su trabajo y de las conclusiones obtenidas en el campo de la física avanzada.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE

- Comprender los fundamentos de la Mecánica Cuántica Relativista, y conocer los principales campos relativistas (Klein-Gordon, Dirac, Campo Electromagnético), y sus propiedades.
- Saber aplicar la formulación de la acción efectiva y conocer su rango de validez, y sus principales aplicaciones prácticas.
- Conocer el significado de los propagadores en la teoría de campos, y comprender su importancia en el estudio de las interacciones en un sistema cuántico.
- Saber aplicar la técnica de renormalización en la teoría de campos, conocer su significado y sus aplicaciones.
- Saber aplicar los métodos de la transformación conforme en la teoría de campos, conocer su significado y sus aplicaciones.
- Conocer los fundamentos básicos del método de bosonización.

CONTENIDOS

Tema 0. Introducción a la Teoría de Campos

Teoría clásica de campos: Principio de Acción. Simetrías Lorentz y Poincaré. Otras simetrías. Teorema de Noether. Leyes de conservación. Ecuación de Klein-Gordon. Ecuación de Dirac. Ecuación del campo electromagnético.

Mecánica Cuántica no relativista: Formalismo canónico. Operadores de creación y destrucción. Integración sobre caminos. Teoría de la dispersión.

Mecánica Estadística: Estadística cuántica. Fermiones y bosones. Sistemas sin interacción.

Bloque I. Cuantización de campos libres relativistas

Principio de Acción en la teoría cuántica. Formalismo de cuantización para campos libres.

Campo escalar libre. Campo de Dirac libre. Cuantización del campo electromagnético.

Teoría estadística de campos.

Bloque II. Campos en interacción

Propagadores y observables.

Campos en interacción. Integración sobre caminos. Derivación de las reglas de Feynman.

Diagramas de Feynman

Bloque III. Métodos y aplicaciones

Acción efectiva. Acción efectiva a temperatura finita.

Renormalización y regularización. La función beta y la libertad asintótica. Electrodinámica cuántica: carga y masa del electrón. Temperatura finita y aplicaciones en la teoría de la respuesta lineal.

Invariancia de escala e invariancia conforme en la teoría de campos. Grupo conforme y álgebra de Virasoro. Identidades de Ward. Aplicaciones en dos dimensiones.

METODOLOGÍA

De manera general, la docencia se impartirá a través de un curso virtual dentro de la plataforma de la UNED.

Curso virtual

Dentro del curso virtual podrá disponer de:

1. Guía del curso, donde se establecen los objetivos concretos y los puntos de interés.
2. Programa, donde se especifica la división del contenido por capítulos.
3. Procedimiento, donde se sugieren al alumno las tareas que debe realizar.
4. Recursos, donde se proporciona información sobre el material necesario para el estudio.

•Actividades y trabajos:

1. Pruebas de evaluación continua.
2. Trabajos a título personal a modo de proyectos.

•Comunicación:

1. Correo, para comunicaciones individuales.
2. Foros de Debate, donde se intercambian conocimientos y se resuelven dudas de tipo académico general.

Aunque cada estudiante debe marcar su ritmo de estudio, para una programación de estudio adecuada se ha elaborado un esquema orientativo para 16 semanas, con una dedicación media de 5 horas a la semana, que equivale a los 6 créditos ECTS de la asignatura. Según los contenidos, podemos dividir el trabajo en una parte teórica para la comprensión de la fundamentación y una parte práctica para la adquisición de las competencias en resolución y comprensión de los sistemas mecánicos. Estos porcentajes varían por bloques y temas, aunque la asignatura en promedio requiere un 60-65% del tiempo para la parte teórica, y un 35-40% del tiempo para la parte práctica.

El estudiante abordará de forma autónoma el estudio de los contenidos de la bibliografía recomendada. Con cada tema se introducirá en el Curso un material complementario consistente fundamentalmente en aplicaciones prácticas de las ideas teóricas, señalando en detalle cuáles son las ideas básicas que intervienen en cada resultado. Asimismo en el Curso Virtual se podrán introducir ejercicios de autoevaluación mediante los cuales los

estudiantes pueden comprobar su grado de asimilación de los contenidos.

SISTEMA DE EVALUACIÓN

TIPO DE PRUEBA PRESENCIAL

Tipo de examen No hay prueba presencial

CARACTERÍSTICAS DE LA PRUEBA PRESENCIAL Y/O LOS TRABAJOS

Requiere Presencialidad No

Descripción

Desarrollo del trabajo personal (resolución de problemas y un proyecto) elegido dentro del listado proporcionado por el equipo docente. El trabajo personal tendrá estos contenidos mínimos:

Circunscripción del trabajo a realizar en relación a los contenidos abordados en el temario/ la asignatura

Búsqueda bibliográfica

Desarrollo propiamente dicho del trabajo

Conclusiones personales en las que se valorará especialmente que el estudiante, en función del grado de conocimiento adquirido, proponga líneas de estudio posteriores.

El trabajo personal supone un máximo de 10 puntos.

Criterios de evaluación

Se valorará:

Capacidad de relacionar el trabajo a realizar con los contenidos de la asignatura

La realización de una correcta búsqueda bibliográfica dentro del contexto actual de la materia abordada.

Capacidad de desarrollar el trabajo mostrando un uso correcto de conceptos y procedimientos así como la claridad en el cálculo.

El grado de conocimiento adquirido y la relevancia de la propuesta de nuevos estudios de ampliación.

Ponderación de la prueba presencial y/o los trabajos en la nota final El trabajo tiene una puntuación máxima de 10 puntos.

Fecha aproximada de entrega 30/01/2024;

Comentarios y observaciones

PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)

¿Hay PEC? No

Descripción

Criterios de evaluación

Ponderación de la PEC en la nota final

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

OTRAS ACTIVIDADES EVALUABLES

¿Hay otra/s actividad/es evaluable/s? No

Descripción

Criterios de evaluación

Ponderación en la nota final

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?

Suma de las puntuaciones obtenidas en la resolución de los tareas del trabajo personal.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

A partir de este curso 2023/24 el equipo docente publica en el curso virtual el material completo para el estudio teórico y práctico de los contenidos de la asignatura, en formato de

libro electrónico:

- A. PEREA, **Teoría de Campos** (Edición Octubre 2023)

y de acuerdo con el siguiente **índice:**

Introducción a la Teoría de Campos

Teoría cuántica no relativista

Teoría clásica de campos: campo escalar, campo de Dirac y campo electromagnético

Bloque I. Campos cuánticos libres

Cuantización del campo escalar

Cuantización del campo de Dirac

Cuantización del campo electromagnético

Bloque II. Campos en interacción

Propagadores y observables

Integración sobre caminos

Diagramas de Feynman

Bloque III. Métodos y aplicaciones

Acción efectiva

Regularización y Renormalización

Teoría conforme de campos

Nota adicional: De forma previa al comienzo del curso, puede solicitarse al equipo docente (mediante un correo electrónico) copia de la parte introductoria de este libro (Introducción a la Teoría de campos), que puede ser útil a modo de *curso 0* de preparación previa a los contenidos de la asignatura.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

ISBN(13):9780201119824

Título:QUANTUM FIELD THEORY OF POINT PARTICLES AND STRINGSnull

Autor/es:

Editorial:ADDISON-WESLEY

ISBN(13):9780521195478

Título:INTRODUCTION TO EFFECTIVE FIELD THEORY. THINKING EFFECTIVELY ABOUT HIERARCHIES OF SCALEnull

Autor/es:

Editorial:CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

ISBN(13):9780521670531

Título:THE QUANTUM THEORY OF FIELDS. VOLUME I FOUNDATIONSnull

Autor/es:

Editorial:CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

ISBN(13):9780521764445

Título:FIELD THEORIES OF CONDENSED MATTER PHYSICSSegunda Edición

Autor/es:

Editorial:CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

ISBN(13):9780521842235

Título:CRITICAL DYNAMICS. A FIELD THEORY APPROACH TO EQUILIBRIUM AND NON-EQUILIBRIUM SCALING BEHAVIORnull

Autor/es:

Editorial:CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

ISBN(13):9780521876766

Título:THE SCHWINGER ACTION PRINCIPLE AND EFFECTIVE ACTIONnull

Autor/es:

Editorial:CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

ISBN(13):9780691010199

Título:QUANTUM FIELD THEORY IN A NUTSHELL2003

Autor/es:

Editorial:: PRINCETON UNIVERSITY PRESS

ISBN(13):9781107034730

Título:QUANTUM FIELD THEORY AND THE STANDARD MODELnull

Autor/es:

Editorial:CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

ISBN(13):9783540770138

Título:PROBLEM BOOK IN QUANTUM FIELD THEORYSecond Edition

Autor/es:

Editorial:: SPRINGER

ISBN(13):9789814579391

Título:PRINCIPLES OF PHYSICS FROM QUANTUM FIELD THEORY TO CLASSICAL MECHANICSnull

Autor/es:

Editorial:WORLD SCIENTIFIC

ISBN(13):9780367378684

Título:SYMMETRIES AND SYMMETRY BREAKING IN FIELD THEORYnull

Autor/es:

Editorial:CRC Press

ISBN(13):9780521670548

Título:THE QUANTUM THEORY OF FIELDS, VOLUME 2: MODERN APPLICATIONSnull

Autor/es:

Editorial:CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

ISBN(13):9781498763219

Título:THE STANDARD MODEL AND BEYONDSecond Edition

Autor/es:

Editorial:: CRC PRESS

ISBN(13):9781842652497

Título:A FIRST BOOK OF QUANTUM FIELD THEORYnull

Autor/es:

Editorial:Alpha Science International, LTD

ISBN(13):9780199699339

Título:QUANTUM FIELD THEORY FOR THE GIFTED AMATEURnull

Autor/es:

Editorial:: OXFORD UNIVERSITY PRESS

ISBN(13):9780691149080

Título:QUANTUM FIELD THEORY: AN INTEGRATED APPROACHnull

Autor/es:

Editorial:: PRINCETON UNIVERSITY PRESS

Referencia básica: El libro de texto que se ha seleccionado es *Quantum Theory of Fields. An Integrated approach*, de Eduardo Fradkin, publicado recientemente en 2021. El autor integra en este libro distintas perspectivas de la TCC, desde las altas energías, la materia condensada o la física estadística, y por tanto es un libro de texto adecuado para la consecución de los objetivos de la asignatura.

Adicional: Se añade a la guía del curso una lista extensa de la bibliografía de la TCC, la que es más relevante en relación a los contenidos cursados en el asignatura. La bibliografía adicional se ha distribuido en:

- Nivel introductorio: son libros que describen la teoría desde un punto de vista menos formal, y más asequible en un primera introducción al tema. Pueden utilizarse como guía para aclarar las dificultades puntuales que surjan en el estudio de los contenidos.
- Bibliografía básica adicional: es la bibliografía complementaria propiamente dicha, donde pueden estudiarse en mayor profundidad aspectos concretos.
- Libro de problemas, que cubre parcialmente los contenidos de la asignatura.
- Aplicaciones: que pueden ser de interés para profundizar en las aplicaciones de la TCC en distintos ámbitos, como es el Modelo Estándar, la Mecánica Estadística.

En relación a esta bibliografía adicional, los contenidos de la asignatura están abordados en los capítulos:

Tema 0. Recordatorio de Teoría Clásica de Campos, Mecánica Estadística y Mecánica Cuántica.

Fradkin: cap 1 a 3.

Radovanovic: Caps 1 a 6,

Weinberg: cap 3, 4 y 7, Toms: cap 1, 2 y 5, Hatfield: cap 12, Kapusta: cap 1

Tema 1. Cuantización de campos libres relativistas

Fradkin: caps 4, 6 7 y 9

Radovanovic: caps 7 a 9

Hatfield: caps 3 a 5, Weinberg: cap 5, Toms: cap 3 y 5

Tema 2. Campos en interacción. Integración sobre caminos. Propagadores. Acción efectiva

Fradkin: caps 5, 8, 10, 11, 12 y 14

Radovanovic: cap 6 y 10

Toms: cap 4, 6 y 7, Hatfield: cap 11 a 14, y cap 18, Weinberg: cap 9, Kapusta: cap 2 y 3

Tema 3. Renormalización

Fradkin: caps 13, 15 y 16

Radovanovic: cap 11

Hatfield: caps 16, 17 y 18, Weinberg: cap 12, Toms: cap 8, Kapusta: caps 4, 5 y 6

Tema 4. Bosonización. Transformaciones conformes.

Fradkin: caps 21 y 22

Gogolin: caps 1 a 4, Francesco: caps 4 y 5.

BIBLIOGRAFIA ADICIONAL

Nivel Introductorio

- A First Book Of Quantum Field Theory, Amitabha Lahiri, Palash B. Pal

- Quantum field theory for the gifted amateur, Tom Lancaster, Stephen J. Blundell
- Quantum field theory in a nutshell, A. Zee
- Principles of Physics From Quantum Field Theory to Classical Mechanics, Ni Jun
- Introduction to Effective Field Theory, C. P. Burgess

Bibliografía adicional básica

- The Schwinger Action Principle and Effective Action, D. Toms
- Quantum field theory of point particles and strings, B. Hatfield
- The Quantum Theory Of Fields Vol 1 Foundations, S. Weinberg
- Classical Covariant Fields, M. Burgess
- Finite-temperature field theory principles and applications, J. Kapusta et al.
- Bosonization and strongly correlated systems, O. Gogolin et al.
- Conformal Field Theory, P. Francesco et al.

Libro de problemas

- Problem Book in Quantum Field Theory, V. Radovanovic

Aplicaciones - Modelo Estándar

- Quantum Field Theory And The Standard Model, Matthew D. Schwartz
- The Quantum Theory of Fields Vol 2 - Modern applications, S. Weinberg
- The Standard Model and Beyond, Second Edition, P. Langacker

Aplicaciones - Otras aplicaciones

- Critical Dynamics A Field Theory Approach to Equilibrium and Non-Equilibrium Scaling Behavior, U.C. Taeuber
- Field Theories of Condensed Matter Physics, E. Fradkin
- Symmetries and Symmetry Breaking in Field Theory, P. Mitra

RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

Software computacional:

Se recomienda el uso de software de cálculo simbólico para facilitar el manejo de las fórmulas matemáticas complejas, de carácter algebraico, que aparecen habitualmente en las teorías de campo. En esta asignatura se recomienda en particular el uso de:

- Cadabra. <https://cadabra.science/>
- SageMath/SageManifolds: <https://sagemanifolds.obspm.fr/>

y de forma puntual además el uso de otros paquetes más específicos para aplicaciones concretas. Tanto Cadabra como SageManifolds permiten su uso en nube, por lo que no resulta necesario que se instalen y ejecuten en el propio ordenador del usuario.

Videos:

Se recomiendan las clases y seminarios grabados en el Perimeter Institute disponibles en su archivo público <http://pirsa.org/>:

- PSI 2019/2020 - Quantum Field Theory (Wohns/Xu)
 - PSI 2018/2019 - Quantum Field Theory II (David)
 - PSI 2018/2019 - Quantum Field Theory III (Gomis, Wohns and Ali)
 - 14/15 PSI - Conformal Field Theory
-

IGUALDAD DE GÉNERO

En coherencia con el valor asumido de la igualdad de género, todas las denominaciones que en esta Guía hacen referencia a órganos de gobierno unipersonales, de representación, o miembros de la comunidad universitaria y se efectúan en género masculino, cuando no se hayan sustituido por términos genéricos, se entenderán hechas indistintamente en género femenino o masculino, según el sexo del titular que los desempeñe.